

正 [土] 那須 誠 (元前橋工科大学)

Relation between Rail Deformation and Ground

Makoto Nasu

The track irregularity in alignment occurred during high-speed running test of electric locomotive of the SNCF in 1955. Snake motion of bogie and track irregularity in alignment occurred during high-speed running test in the Tokaido Shinkansen model line. In this report the relationship between these phenomena and ground will be considered.

Keywords : SNCF, Tokaido Shinkansen, high speed test run, snake motion, track irregularity in alignment, ground

1. はじめに

フランス国鉄の電気機関車による試験列車の高速走行時に発生した通り狂いと、東海道新幹線モデル線の試験列車高速走行時に発生した蛇行動・通り狂いと地盤の関係について考察したので、その結果を報告する。

2. 軌道変形と地盤の関係(フランス国鉄の超高速列車試験)

2.1 試験概要と通り狂い

1955年3月28-29日にフランス国鉄(SNCF)において電気機関車による高速走行試験が行われて331km/hを達成した¹⁾⁻³⁾。位置はBordeaux・Dax線Facture-Morcenx間である。使用した電気機関車はBB9004(車体39t, ボギー台車23.5t, 2軸/1台車, 軸距3.2m, 軸重20.750t)とCC7107(車体46t, ボギー台車30.5t, 3軸/1台車, 軸距2.51m, 2.335m, 軸重17.800t)である(図-1)^{1), 2)}。BB9004はCC7107より車体とボギー台車が軽く、軸重は重い。この試験で後者では軌道狂いは発生しなかったが、前者では図-2³⁾に示すような500m延長にわたる通り狂い(波長22mの連続的な波形)が発生したといわれている。

ここで、図-2の写真から地盤に関して読み取ったこと次に述べる。

- (1) 下り線走行試験(左側通行)時の写真である。
- (2) 木マクラギと犬釘の軌道である。
- (3) 線路は手前側に0.5/1,000の下り勾配区間(図-3参照)

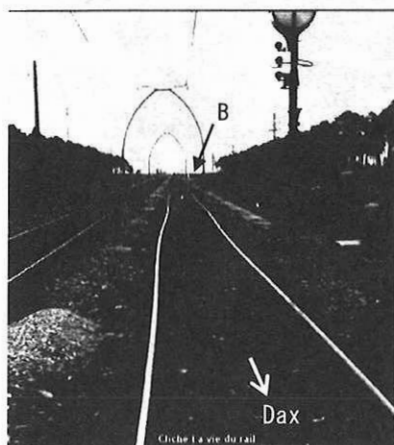
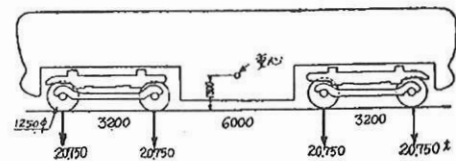


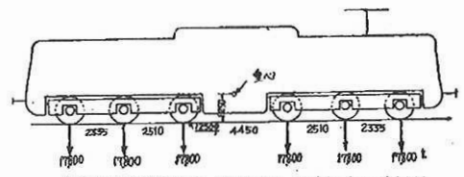
図-2 高速試験の時の通り狂い(原図3)に追加)

であるが、ここは局部的に窪んだ地形(谷渡り区間)のように思われる。

- (4) ここでは左右の地形が異なり、左側に右側と同じ盛土状のもの(図中のA)がみられない。ここは地形的に谷形状の様にも思われる。谷の源頭部のようにも思われる。
- (5) 右側の信号機ボックスの右側の盛土状のものの天端がほぼ水平(人工的な水平か)で、その斜面下端(法尻線)



(a) 電気機関車 BB9004 の軸重と軸距



(b) 電気機関車 CC7107 の軸重と軸距

図-1 電気機関車 BB9004 と CC7107^{1), 2)}

X: 60KM: 300km/hより速度ダウン開始点 Y: 71.7KM: 331km/h記録地点
Z: 73.0-73.5KM: 通り狂い発生地点

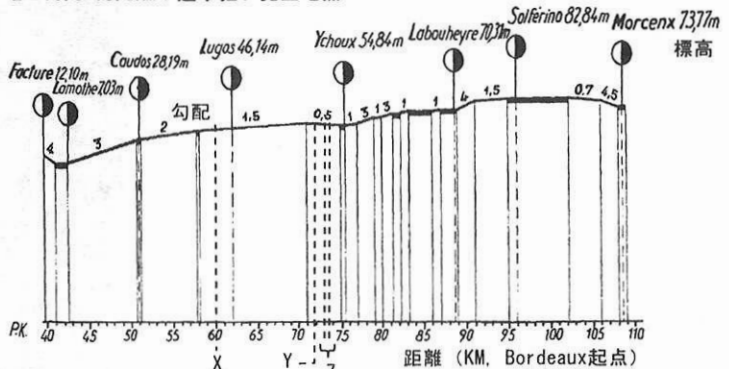


図-3 Bordeaux・Dax線Facture-Morcenx間の線路縦断面図(原図1)に追加)

- が手前側に傾斜して下っており、しかもこの盛土のようなものは手前側に厚くなっていて、溜池の堰堤のようにも思われる。
- (6) 奥の方に農道(図中のB地点)が線路に直角に交差し、その向こうは切取のようにもみえる。
- (7) 線路の施工基面の右端(写真上の)の勾配が切取なら一直線に手前側に下る筈であるが、写真では4段階位に異なっている。
- (8) ここは縦横断方向の切盛境界部になっているようにも思われる。

なお、図-3¹⁾に試験区間Fracure-Morcenx間の線路縦断面図を示す。この図をみると、Lugas-Ychoux間のすり鉢状の地形内で331km/hの最高速度が達成され(図のY地点、71.7KM)、73.0-73.5KM間(図のZ地点)でレールに通り狂いが発生していることが分かる。図-4¹⁾には試験時のランカーブが示されている。この図によるとP.K. 60KM付近で一度減速してから加速して最高速度を達成し、次に減速中にレールの通り狂いが発生していることが分かる。

2.2 衛星写真を用いた地盤の判読

次に、最高速度を達成した地点と、レールに通り狂いが発生した地点の地形を地図から調べる。それらの地点は地形図や地質図で調べる必要があるが、現在それらが手元にないため取りあえず衛星写真で調べることにする。図-5⁴⁾にそれらの地点が写っていると考えられる衛星写真を示す。なお、数枚の衛星写真をつないだり縮小したりしており距離の計測に誤差が含まれことを前提に調査を進める。

この衛星写真から地盤・地形に関して次のようなことを読み取ることができると思われる。

- (1) 同図中の L が通り狂い発生区間(73.0-73.5KM)であり、この区間を含むMの丸印範囲内の路盤が他の区間と比べて施工基面の路盤が黒っぽくみられる。それは含水状態が影響(例えば含水比が大きいこと)しているように思われる。
- (2) 同図中の N の範囲に線路を左右に横断する谷地形があるように思われるし、用地幅が前後の区間と比べてこの区間は狭くみえるのは、ここが谷地形だからかも知れない。

以上のように、衛星写真からもレールの通り狂い発生地点は谷地形で、前述の写真から判読したことと符合するように思われる。

3. 軌道変形と地盤の関係(東海道新幹線モデル線速度向上試験)

2.1 速度向上試験時の蛇行動発生概要

1963年3月30日に東海道新幹線モデル線の56k300m~57k300m付近で、高速度で走行時にDT-9004号台車等に蛇行動が発生した⁵⁾⁻⁷⁾。この

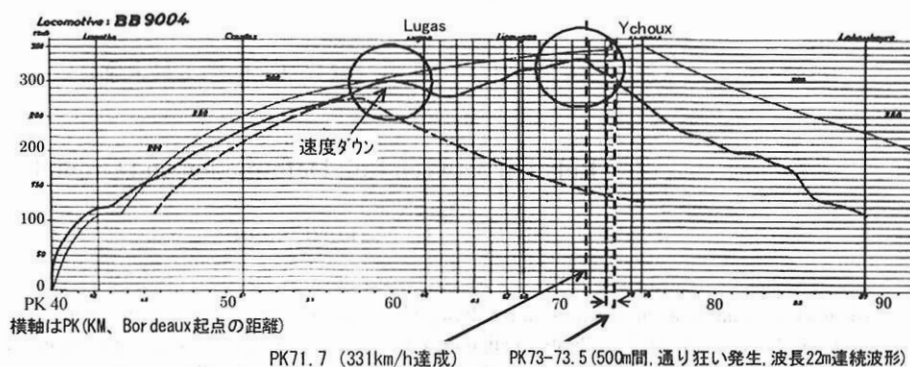


図-4 Fracure-Morcenx間のランカーブ(原図1)に追加

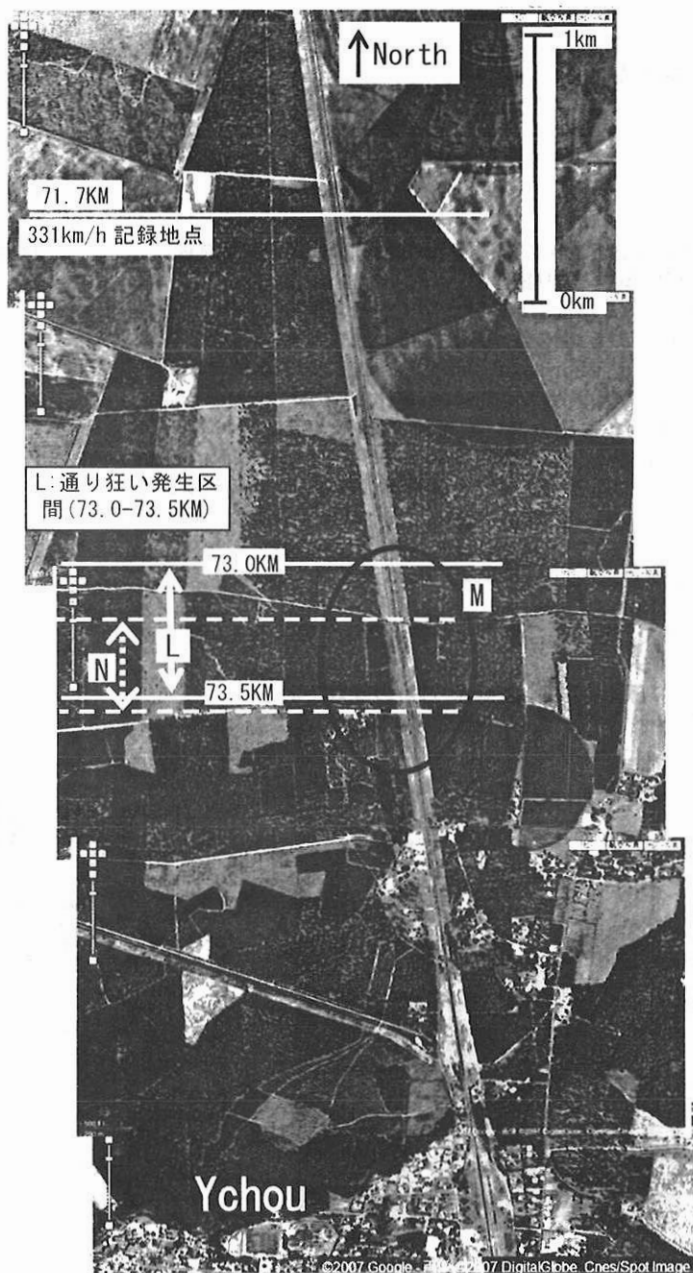


図-5 最高速度達成地点と通り狂い発生地点付近衛星写真(原図4)に追加

蛇行動は同じ箇所をほぼ同じ速度で走っているうちに次第にその激しさを増し最終回の走行のときはその台車だけでなく、他の3車両の台車にも著しい振動を生じた。

2.2 蛇行動による通り狂い発生状況(その1)

まず、「東海道新幹線に関する研究(第5冊)」⁵⁾の蛇行動による通り狂いに関する部分を簡単にまとめて、下記の(1)～(2)に示す。

(1) 軌道試験車の軌道狂い状況

新幹線の一般試験用B編成車は4両編成[車体1003(台車DT-9006)+1004(DT-9004)+1005(DT-9005)+1006(DT-9003)]である。新幹線軌道試験車4001号車による、蛇行動発生前の3月29日と当日30日の軌道狂い記録に差がみられたが、当該区間の前日の狂いは想定限度内の値で寧ろ可成良好な状態にあり、その差はDT-9004号台車の蛇行動で発生したものと考えられた。また、DT-9004号台車の蛇行動による軌道狂いは主として通り狂いに発生し、特に顕著な狂いは56k294m～56k440mの146mの区間であり、最大振巾はこの区間の中央部に生じた。

(2) 蛇行曲り測定器による記録

図-6⁵⁾は蛇行動で発生した通り狂いの記録である。これは蛇行曲り測定器による通り狂いの絶対形状の測定値にファスニング押えねがレールにつけた跡の測定値を加えて、軌道試験車の通り狂いの記録と共に図示されている。

(3) 通り狂い発生個所の地盤状態

次に、後述するように「ある決った箇所で蛇行動が発生した」等と報告されているので、どのような地盤状態のところで発生したのか調べる。

蛇行動区間 56K294M～56K440M(建設キロ程) (営業キロ程 58K049M70～58K195M70) の位置地形図と地盤・構造物を図-7⁹⁾、8⁹⁾に示す。後述するように蛇行動は2箇所が発生し、1箇所は緩和曲線から直線にかけて発生し、もう1箇所は別な直線で発生したといわれているが、図-8よりそのS位置が緩和曲線から直線にかけた位置であることが分かる。なお、両図からは橋梁が存在すること等の他に、地盤・路盤状態に特別変わった点はみられないようである。

2.3 蛇行動による通り狂い発生状況(その2)

まず、「東海道新幹線に関する研究(第4冊)」分冊、総論^{6)～7)}の蛇行動に関する部分の一部を簡単にまとめて、下記の(1)～(3)に示す。

(1) DT-9003台車の蛇行動は約180km/h以上の速度で、ある決った箇所、主に曲線区間で現われた。蛇行動は速度を増すにつれて激しさも増した。図-9⁷⁾の蛇行動時の車輪横圧記録例によると、横圧はかなり衝撃的ではあるが非常に瞬間的ではなく、車輪はレールを押して変位させた後に押し戻されることを示す。

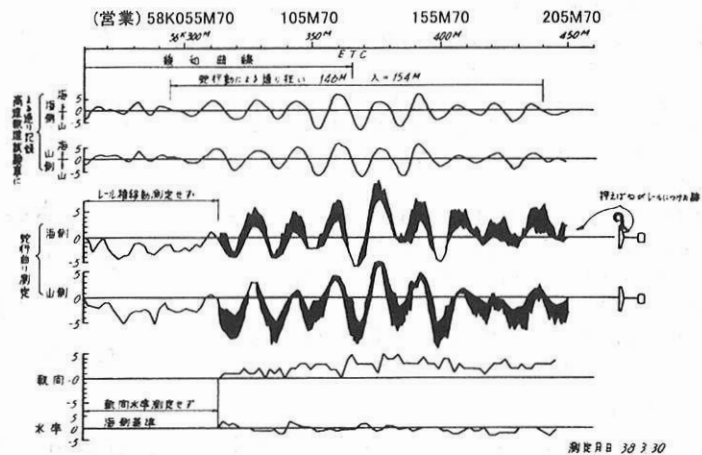


図-6 蛇行動により発生した通り狂いの記録(原図5)に追加



図-7 蛇行動区間S, S1, S2の位置地形図(原図8)に追加

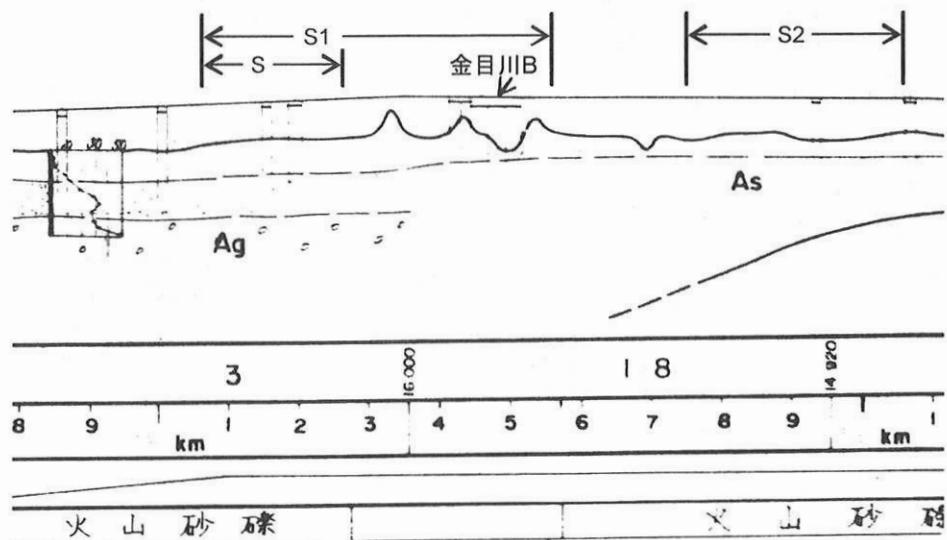


図-8 蛇行動による通り狂い発生箇所付近の地盤等(原図10)に追加

(2) 蛇行は軌道状態に大きく影響され、雨天の際は全く現われず、軌道の通り狂いを直した後は殆ど現われないこともあった。このことは蛇行が車輪とレール間のクリーブ又は摩擦係数に強く支配されること、又蛇行の発生は軌道の通り狂いに基づく攪乱の大きさに大に関係することを示す。

(3) DT-9004台車の蛇行は243km/hの速度で、ある曲線出口の緩和曲線から直線にかけた部分(56.3-56.8km)と、別の直線部分(57.0-57.3km)の2個所で発生した。DT-9005台車の蛇行は243km/hの速度で、ある曲線出口の緩和曲線から直線にかけた部分と、別の直線部分とで発生した。両台車の

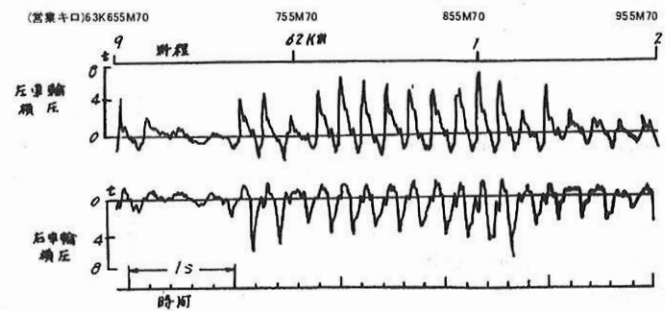


図-9 蛇行の際の車輪横圧波形例(A台車, 速度V=200km/h)⁷⁾

蛇行は同じ個所をほぼ同じ速度で数回繰り返して走っているうちに次第にその激しさを増し、最後にはレールにある程度の通り狂いを印すに至った⁶⁾。

(4) 最終回(ほぼ同じ速度の往きと帰りの合計で最初の蛇行発生から9回目)の走行時は、DT-9004台車だけでなく他の3車両の台車(DT-9003台車とDT-9005台車)にも著しい振動が現れた。このことから恐らく軌道にある程度の通り狂いの発生が想像され、試験直後に軌道試験車で調べたところ、同じ個所に長さ約140mに渡って最大通り狂い約8mm、9個の波の正弦波状の横曲がりが発生していた。

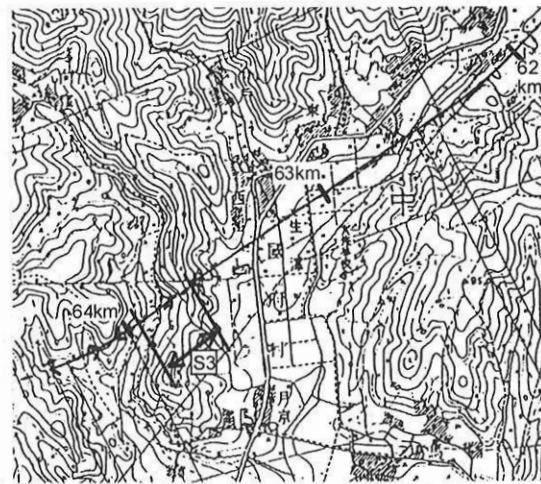


図-10 蛇行区間S3の位置地形図(原図9)に追加

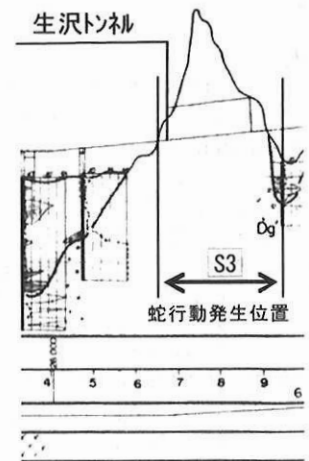


図-11 蛇行区間 S3 の地盤等(原図 10)に追加

(4) 蛇行発生個所の地盤状態

次に、(1)に「ある決った箇所で蛇行が発生した」と報告され、しかも(3)にも同様のことが報告されていることに注目し、どのような地盤状態のところで蛇行が発生したかを調べることにする。なお、(4)の140m長さの通り狂い波形は図-6⁵⁾で、発生位置は図-7⁸⁾、8¹⁰⁾のS位置である。

i) 56.3-56.8km(緩和曲線～直線部分)
56K300M～56K800M(建設キロ程、営業キロ程では58K055M70～58K555M70)の位置地形図と地盤等は図-7⁹⁾、8¹⁾にS1位置で示されている。なお、その距離の範囲に2.1の56K294M～56K440M(建設キロ程、営業キロ程では58K049M70～58K195M70)が含まれている。

ii) 57.0-57.3km(直線部分)

57K000M～57K300M(建設キロ程、営業キロ程では58K755M70～59K055M70)の位置地形図と地盤等は図-7⁹⁾、8¹⁰⁾にS2位置で示されている。

iii) 図-9の車輪横圧記録例の区間(61K900M～62K200M)

図-9⁷⁾の車輪横圧記録例の蛇行区間(61K900M～62K200M建設キロ程、63K655M70～63K955M70営業キロ程)の位置地形図と地盤等を図-10⁹⁾、11¹⁰⁾のS3位置で示す。

図-7、8からは橋梁の存在等の他に、地盤・路盤状態に特別変わった点は認められないようであり、図-10、11からはトンネル内で蛇行が発生したことが分かる。

4. おわりに

以上に述べたように、SNCFの超高速列車試験時の通り

狂いは地盤の不連続点に発生しているようである。東海道新幹線モデル線走行試験時の通り狂い発生区間の地盤に、今回の調査では特異な点はみられなかった。しかし、今後とも両者の地盤調査を継続する予定である。

参考文献

- 1) Les Expérience de Morcenex (Record du monde de vitesse sur voie ferrée 28-29 mars 1955), Revue Générale des Chemins de Fer. Mai 1955.
- 2) 佐藤裕:抄録 保線ニュース, フランス国鉄の超高速(331km/h)列車試験, 鉄道線路, Vol. 3, No. 10, p. 13, 1955. 10.
- 3) BB9004, CC7107, 331km/h, une page d'histoire. 28 & 29 mars 1955, <http://bpcv.free.fr/index.php>
- 4) GOOGLE MAPS, 2007.
- 5) 東海道新幹線に関する研究(第5冊)p. 231, 台車蛇行動により発生した通り狂いの記録, 日本国有鉄道, 鉄道技術研究所 1964. 4.
- 6) 東海道新幹線に関する研究(第4冊), 分冊, 総論, pp. 20-26, 日本国有鉄道, 鉄道技術研究所, 1963. 4.
- 7) 東海道新幹線に関する研究(第4冊), 分冊(3), 高速車両の運動, pp. 257-259, 日本国有鉄道, 鉄道技術研究所, 1963. 4.
- 8) 国土地理院編:2.5万分1地形図, 平塚, 昭14二修, 1947年発行.
- 9) 国土地理院編:2.5万分1地形図, 国府津, 昭8修, 1947年発行.
- 10) 東海道新幹線地質図, 国鉄, 1967.